بیست و سومین کنفرانس اپتیک و فوتونیک و نهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
دانشگاه تربیت مدرس
۱۲-۱۴ بهمن ۱۳۹۵
23rd Iranian Conference on Optics and Photonics and 9th Conference on Photonics Engineering and Technology
Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
January 31- February 2, 2017

اثر تغییر شکل دیسک نازک روی باریکه‌ی خروجی

رضا آقبلاغی[1]، حبیب صاحب قران چره‌جلو و رباب زادجمال سیفی

[1]گروه فوتونیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بناب، بزرگراه بناب، بناب

چکیده-در این مقاله به مطالعه رفتار مد ویژه رزوناتور به هنگام تغییر شکل دیسک نازک و غیرپراشی بودن آن در رزوناتور بر پایه اکسیکون پرداخته شده است. انتگرال پراش فرنل هویگنس بصورت عددی حل شده است و با بکارگیری روش فکس- لی مد غالب رزوناتور استخراج شده است. محیط فعال :Yb YAGبصورت دیسک نازک با ضخامت چند صد میکرون می‌باشد. محاسبات نشان می‌دهند با مقعر شدن یا محدب شدن محیط فعال پروفایل مدغالب رزوناتور دچار اعوجاج می‌شود .همچنین تلفات رزوناتور برحسب تغییر شکل دیسک بررسی شده است.

کلیدواژه- مدهای غیرپراشی بسل-گاوس، تغییر شکل محیط فعال، لیزر دیسک نازک

Deformation Effect of Thin-Disk on Output Beam

R. Aghbolaghi[1], H. Sahebghoran Chareh Jaloo and R. Zadjamal Seifi.

[1]Department of basic science, University of Bonab, Bonab

Abstract- In this paper the behavior of nondiffracting of eigen mode is studied in an axicon-based resonator when the thin disk is deformed. The Huygens-Fresnel diffraction integration is solved numerically and finally the prominent mode of resonator is extracted by employing of well-known Fox and Li method. The active medium is Ytterbium doped material and its diameter is several hundred microns. Results show that the profile of eigen mode is distorted by deformation of the active medium (concave or convex). Also, the losses of resonator are studied respect to varying of radius curvature of disk.

Keywords: Bessel Gauss mode, Active medium deformation, Thin disk Laser

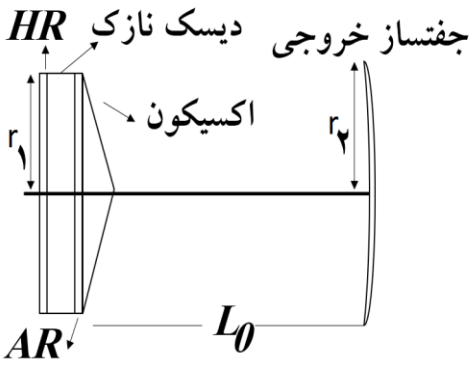
[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-08]

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

۱- مقدمه

لیزرهای دیسکی نازک برای اولین بار در سال ۱۹۹۴ معرفی شد، از مزایای این نوع لیزرها می‌توان به توان توان بالا همراه با کیفیت خوب اشاره کرد [۱]. به دلیل همین ویژگی‌ها برای تولید باریکه‌های خاص پیشنهاد می‌شوند برای مثال در [۲،۳] باریکه‌های لاگرگاوسی در یک پیکربندی رزوناتور دیسکی نازک تولید شده است. باریکه‌های غیرپراشی بسل برای اولین بار در سال ۱۹۸۷ توسط دیورنین و همکارانش معرفی شدند [۴]. روش‌های متنوعی برای تولید این نوع باریکه‌ها وجود دارد و می‌توان به روش استفاده از مدهای متمرکز شده [۵]، استفاده از المان-های فازی انکساری [۶]، هولوگرام [۷] و همچنین اکسیکون اشاره کرد [۸]. رزوناتور بر پایه اکسیکون تولیدکننده پرتوهای بسل برای اولین بار توسط روگل سالازارو و همکارانش و همزمان بطور مستقل توسط خیلوو و همکارانش پیشنهاد شد [۹،۱۰]. ما این پیکربندی را برای دیسک نازک گزارش کردیم [۳].

در این مقاله، ابتدا پیکربندی رزوناتور و سپس روابط ریاضی برای تحلیل رزوناتور ارایه شده است. در ادامه با در نظر گرفتن تغییرات شعاع انحنای جفت‌ساز خروجی و دیسک نازک پروفایل‌های شدت عرضی باریکه روی اکسیکون و جفت ساز خروجی رسم شده‌اند. همچنین، تلفات رزوناتور بر حسب تغییرات شعاع انحنای دیسک بررسی شده است.



شکل۱ : پیکربندی رزوناتور دیسکی نازک با اکسیکون و لیزر دیسکی تعبیه شده بر روی آن و جفت‌ساز خروجی را نشان می‌دهد.

۲- پیکربندی رزوناتورپیشنهادی

پیکربندی رزوناتور پیشنهادی، شکل ۱، شامل سه قسمت اصلی، دیسکی نازک، اکسیکون و جفت‌ساز خروجی است. دیسکی نازک دارای یک لایه‌ی بازتابنده‌ی کامل در سطح پشتی و یک لایه‌ی عبوردهنده‌ی کامل (ضد بازتاب) در سطح جلویی‌اش برای هر دو طول موج لیزر و پمپاژ است. در لیزرهای دیسکی نازک از $Yb: YAG$ به عنوان محیط فعال استفاده می‌شود که اختلاف انرژی کم بین تراز پایین لیزری با تراز پایه، رسانایی حرارتی مناسب میزبان و طول عمر بالای تراز بالای لیزری توانایی ساخت لیزرهایی با توان بالا را به ما می‌دهند. محیط فعال دارای قطری به اندازه چند میلی‌متر و ضخامتی از مرتبه چند صد میکرومتر است [۱۱]. اکسیکون دارای زاویه رأس α و ضریب شکست n می‌باشد. دیسک نازک بر روی اکسیکون تعبیه شده است و طول تشدیدی کاواک برابر L_0 می‌باشد. همچنین از چاهک گرمایی برای خنک‌سازی استفاده می‌شود. در این پیکربندی، برای یافتن مد غالب رزوناتور از روش کلاسیکی تکرار چند بار رفت برگشتی فکس‌لی استفاده شده است. از روش فکس- لی برای توصیف توزیع میدان سه بعدی مد غالب داخل کاواک استفاده می‌شود [۱۲]. اگر توزیع دامنه در صفحهٔ M را با $u_{0p}(r_m)$ نمایش دهیم توزیع دامنه در صفحهٔ N از رابطهٔ زیر بدست می‌آید:

$$u_{1p}(r_m) = \int K_1(r_m, r_n) T_m(r_m) u_{1p}(r_m) dr_m \qquad (۱)$$

که $T_m(r_m)$ تابع عبور المان اپتیکی اکسیکون، جفت‌سازخروجی یا دیسک نازک است که بصورت زیر تعریف می‌شوند:

$$\begin{aligned} T_{axicon}(r_1) &= \exp\left(-i\,2k\,\theta_0\, r_m\right) \\ T_{OC}(r_2) &= exp\left(-ik\, r_n^2 / R_{OC}\right) \\ T_{TD}(r_1) &= exp\left(-ik\, r_m^2 / R_{TD}\right) \end{aligned} \qquad (۲)$$

کرنل $K_0(r_m, r_n)$ انتشار بین دو صفحه M و N را با در نظرگرفتن المان‌های ماتریس $ABCD$ بصورت زیر تعریف می‌کند و داریم:

$$K_0 = (-i)\left(\frac{k}{B}\right) r_m J_0\left(\frac{k}{B} r_m r_n\right) \exp\left[\frac{ik}{2B}\left(A r_m^2 + D r_n^2\right)\right] \qquad (۳)$$

و J_0 تابع بسل از مرتبه صفر است و المان‌های ماتریس $ABCD$ بصورت $B=L_0 A=D=1$ می‌باشد. اتلاف باریکه در هر بار عبور از رابطهٔ $\gamma = 1 - P_i / P_{i-1}$ محاسبه می‌شود که P_i توان باریکه در دور iام است و از $P_i = \int 2\pi I_i r dr$ قابل محاسبه می‌باشد و I_i شدت باریکه در دور iام در روی صفحهٔ اکسیکون یا جفت‌ساز خروجی است.

۳- نتایج و بحث

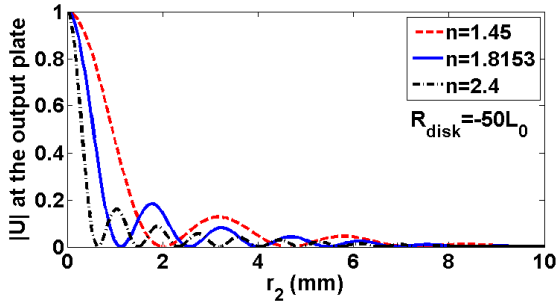
با استفاده از روابط (۱)، (۲) و (۳) و با بکارگیری روش تکرار فکس-لی، نمودار پروفایل عرضی باریکه برای سه اکسیکون متفاوت و با احتساب تغییرات شعاع انحنای دیسکی نازک که مضارب مختلفی از طول رزوناتور است، روی اکسیکون و جفت‌ساز خروجی رسم شده است. (شکل۲-الف- د). با توجه به هر چهار نمودار مشهود است که شعاع پیک مرکزی توزیع شدت با کاهش ضریب شکست پهن‌تر می‌شود. یعنی وقتی اکسیکون دارای ضریب شکست ۱/۴۵ است، شعاع پیک مرکزی توزیع شدت عریض‌تر از حالتی است که اکسیکون دارای ضریب شکست ۱/۸۱۵۳ است. علاوه بر آن، در شکل (۲-ج) و (۲-د)، در ضریب شکست ۲/۴، باریکه بسل-گاوسی در $r_1/2$ دارای پیک توزیع شدت است و این پیک در ضرایب شکست ۲/۴ و ۱/۸۱۵۳ به سمت مرکز جابجا شده‌اند.

نمودارهای شکل۲ با احتساب تغییرات شعاع انحنای جفت‌ساز خروجی تکرار شده‌اند. (شکل۳-الف-د). در شکل (۳-ج) برای هر سه ضریب شکست پیک شدت باریکه به سمت کناره‌های محیط فعال جابجا

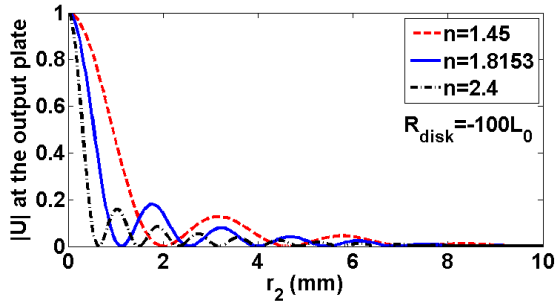
این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-08]

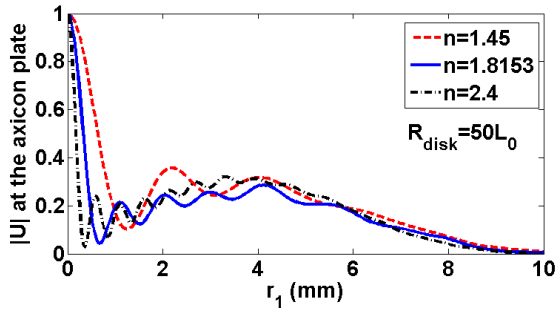
شده است و مخصوصا باریکه بسل گاوسی در ضریب شکست ۲/۴ دارای توزیع شدت نامتقارنی بوده و این از نظر بدست آوردن توان خروجی بیشینه دارای اهمیت است زیرا با وجود این توزیع شدت روی محیط فعال اکثر سطح محیط فعال غیر قابل بهره‌برداری می‌شود که در اینصورت عملا توان خروجی کاهش می‌یابد. اگر شعاع انحنای دیسک ۱۰۰L. باشد و خروجی تخت (شکل ۲-د) و بار دیگر شعاع انحنای جفت‌ساز خروجی ۱۰۰L. باشد و دیسک تخت (شکل ۳-د)، آنگاه در حالت مقعر بودن شعاع‌های انحنا پروفایل شدت عرضی باریکه روی صفحهٔ اکسیکون برای ضریب شکست ۲/۴ دچار اعوجاج می‌شود. ولی برای بقیه ضریب شکست‌ها چنین تغییری مشاهده نمی‌شود. این در حالی است که برای شعاع انحناهای محدب، ۵۰L. و ۱۰۰L.-، پروفایل شدت عرضی باریکه روی صفحه‌ی خروجی و اکسیکون برای هر سه ضریب شکست تغییر نیز می‌کند. زیرا میدان عرضی در اکسیکون تمایل دارد در راس آن متمرکز شود و حلقه‌های بسل توسط ضریب دامنهٔ شعاعی مدوله می‌شوند.



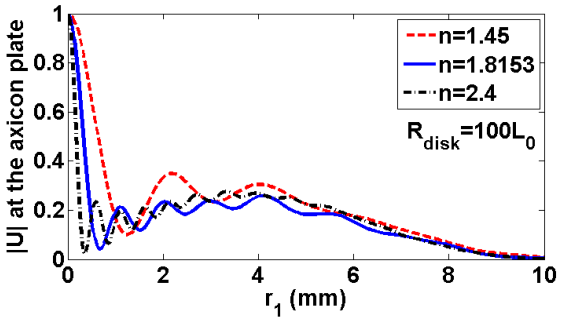
شکل۲-الف : پروفایل عرضی باریکه در روی جفت‌ساز خروجی برحسب شعاع دیسک(R_{disk}=$-50L_0$) و جفت‌ساز خروجی تخت است.



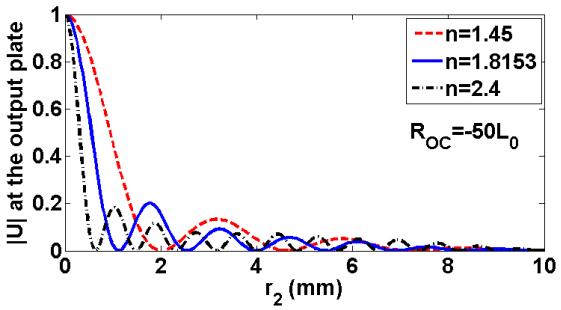
شکل۲-ب : پروفایل عرضی باریکه در روی جفت‌ساز خروجی برحسب شعاع دیسک(R_{disk} =$-100L_0$) و جفت‌ساز خروجی تخت است.



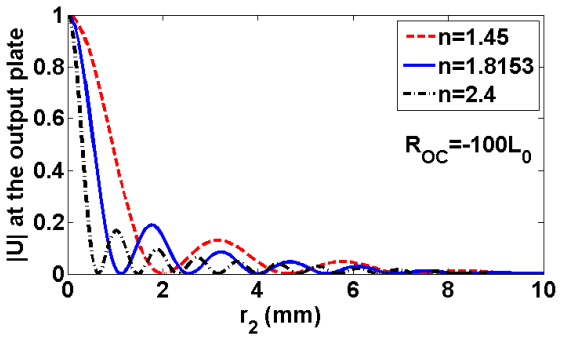
شکل۲ –ج : پروفایل عرضی باریکه در روی اکسیکون برحسب شعاع دیسک (R_{disk} =$50L_0$) و جفت‌ساز خروجی تخت است.



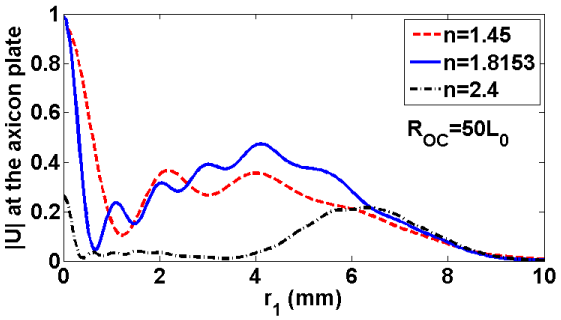
شکل۲-د : پروفایل عرضی باریکه در روی اکسیکون برحسب شعاع دیسک (R_{disk} =$100L_0$) و جفت‌ساز خروجی تخت است.



شکل۳–الف : پروفایل عرضی باریکه درروی جفت‌سازخروجی برحسب شعاع جفت ساز خروجی (R_{OC}=$-50L_0$) و دیسک تخت است.



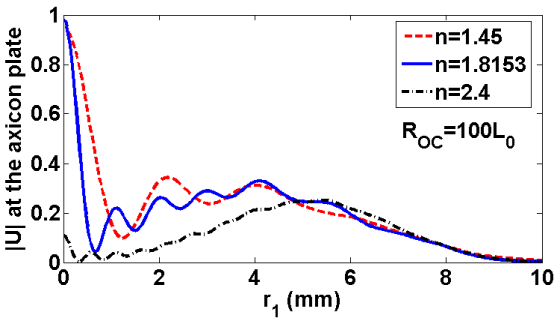
شکل۳-ب : پروفایل عرضی باریکه درروی جفت‌ساز خروجی برحسب شعاع جفت‌ساز خروجی (R_{OC} =$-100L_0$) و دیسک تخت است.



شکل۳-ج : پروفایل عرضی باریکه در روی اکسیکون برحسب شعاع جفت‌ساز خروجی (R_{OC} =$50L_0$) و دیسک تخت است.

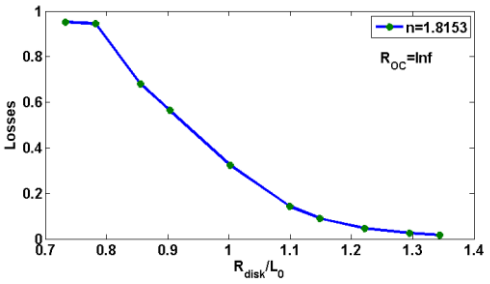
این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-08]



شکل۳-د : پروفایل عرضی باریکه در روی اکسیکون برحسب شعاع جفت‌ساز خروجی ($R_{OC}=100L_0$) و دیسک تخت است.

اگر آینهٔ خروجی تخت باشد، و شعاع انحنای دیسک نازک تغییر کند، آنگاه تلفات رزوناتور نسبت به تغییرات آن برای n=۱/۸۱۵۳ در شکل ۴ رسم شده اند. تغییر شعاع انحنای دیسک به صورت مضاربی از طول تشدیدی رزوناتور است. در شعاع انحناهای کمتر از طول تشدیدی، تلفات رزوناتور بتدریج افزایش می‌یابد به طوری که در نزدیکی‌های ۰/۷ به بیشترین مقدارش می‌رسد. اما در شعاع انحناهای بزرگتر از طول تشدیدی، تلفات سیر نزولی را در پیش گرفته و به تدریج تقریبا حالت پایداری به خود می‌گیرند یعنی وقتی دیسک نازک تخت‌تر می‌شوند تلفات کمتر می‌شوند.



شکل۴ : نمودار اتلاف برحسب تغییرات شعاع انحنای دیسک. شعاع انحنای دیسک نسبت به طول تشدیدی کاواک نرمالیزه شده است.

۴- نتیجه گیری

نمودارهای مربوط به پروفایل عرضی شدت باریکه در نقاط مختلف کاواک بر حسب تغییرات شعاع لیزر دیسک نازک و تغییرات شعاع آینه جفت ساز خروجی برای ضریب شکست‌های مختلف اکسیکون بررسی شدند. مشخص شد که برای ضریب شکست‌های مختلف و تغییرات شعاع دیسک نازک، باریکهٔ بسل-گاوسی رفتارهای متفاوتی از خود نشان می-دهد. این در امر استخراج توان بیشنه از رزوناتور نقش بسزایی را ایفا می-کند، چراکه با افزایش قطر لکه مرکزی امکان پوشش کل سطح محیط فعال وجود دارد در نتیجه توان خروجی نیز افزایش می‌یابد. همچنین مشخص شد که محدب‌تر شدن دیسک نازک روی پروفایل شدت عرضی باریکه‌ها بر روی جفت‌ساز خروجی تاثیر اساسی نمی‌گذارد. ولی مقعر شدن دیسک روی پروفایل شدت باریکه در روی اکسیکون وقتی ضریب شکست ۲/۴ است تاثیر می‌گذارد. نمودار تلفات برحسب تغییر شعاع انحنای دیسک رسم شد و مشخص شد که تغییر شکل دیسک (مقعر) روی تلفات رزوناتور تاثیر می‌گذارد و با تخت‌تر شدن دیسک این تلفات به مینیمم مقدارشان می‌رسند.

مراجع

[۱] A. Giesen and J. Speiser, “Fifteen years of work on thin-disk lasers: results and scaling laws”, IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron. 13 (3). (2007) 598.

[۲] R. Aghbolaghi and H. Sahebghoran, "Radially and azimuthally polarized laser beams by thin-disk laser," Appl. Opt. 55. (2016) 3510-3517.

[۳]R. Aghbolaghi, S. Batebi, and J. Sabaghzadeh, "Thin-disk laser with Bessel-like output beam: theory and simulations," Appl. Opt. 52. (2013) 683-689.

[۴] J. Durnin, “Exact solutions for nondiffracting beams. I. The Scalar theory,” J. Opt. Soc. Am. A 4, (1987) 651–654.

[۵] W .-X. Cong, N.-X. Chen, and B.-Y. Gu, “Generation of nondiffracting beams by diffractive phase elements,” J. Opt. Soc. Am. A 15. (1998) 2362–2364.

[۶] J. Turunen, A. Vasara, and A. T. Friberg, “Holographic generation of diffraction-free beams,” Appl. Opt. 27. (1988) 3959–3962.

[۷] Vasara,J.Turunen, and A. T. Friberg, “Realization of general nondiffracting beams with computer-generated holograms,” J. Opt. Soc. Am. A 6. (1989) 1748–1754.

[۸] G. Scott and N. McArdle, ‘‘Efficient generation of nearly diffraction-free beams using an axicon,’’ Opt. Eng. 3. (1992) 2640–2643.

[۹] J. Rogel-Salazar, G. H. C. New, and S. Chávez-Cerda,“Bessel–Gauss beam optical resonator,” Opt. Commun.190. (2001) 117–122.

[۱۰] A. N. Khilo, E. G. Katranji, and A. A. Ryzhevich, “Axiconbased Bessel resonator: analytical description and experiment,” J. Opt. Soc. Am. A 18. (2001) 1986–1992.

[۱۱] Hagop Injeyan, Gregory Goodno ,“High Power Laser Handbook,” McGraw-Hill Professional.(2011)

[۱۲] Raúl I. Hernández-Aranda, Sabino Chávez-Cerda, and Julio C. Gutiérrez-Vega, "Theory of the unstable Bessel resonator," J. Opt. Soc. Am. A 2. (2005) 1909-1917.

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-08]